

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 38 35 986 C 2

⑳ Aktenzeichen: P 38 35 986.3-33
㉑ Anmeldetag: 21. 10. 88
㉒ Offenlegungstag: 3. 5. 89
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 20. 6. 91

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 F 1/12
H 01 F 17/04
H 03 K 17/80
H 03 K 3/53
H 03 K 5/01
H 01 F 27/24
H 01 H 36/00

DE 38 35 986 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
23.10.87 JP 62-267830

⑦3 Patentinhaber:
Hitachi Metals, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,
H., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦2 Erfinder:
Yamauchi, Kiyotaka; Yoshizawa, Yoshihito;
Nakajima, Shin, Kumagaya, Saitama, JP

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
US 42 75 317
EP 2 71 657

⑤4 Magnetschalter für einen Hochspannungs-Impulsgenerator

DE 38 35 986 C 2

FIG. 1

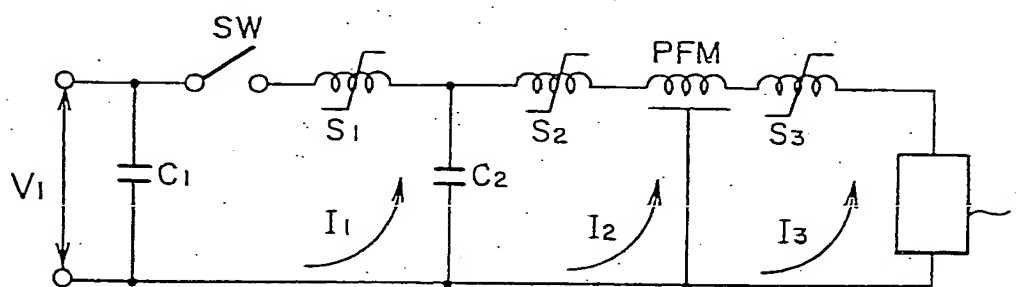
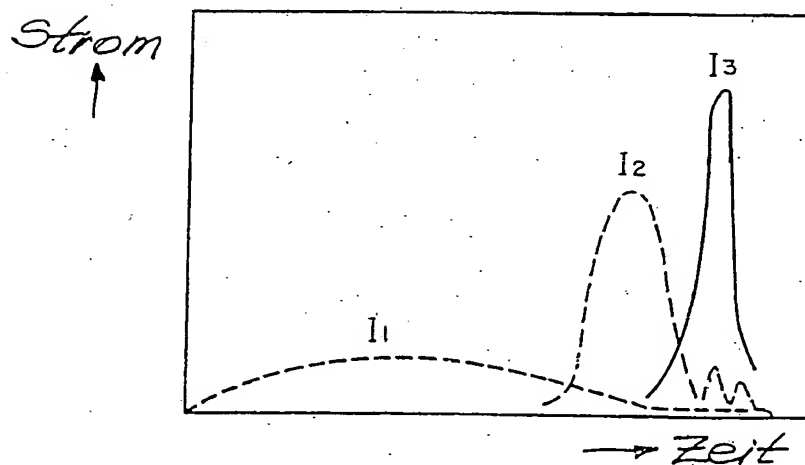


FIG. 2



Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Magnetschalter gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein solcher ist aus der US 42 75 317 bekannt.

Die Erfindung ist anwendbar auf einen Hochspannungs-Impulsgenerator für Linearbeschleuniger, Radareinrichtungen, Excimer-Laser usw. mit mindestens einem Magnetschalter, der einen aus einer weichmagnetischen Eisenlegierung bestehenden Magnetkern aufweist.

Impulse, wie sie Linearbeschleunigern, Excimer-Lasern und ähnlichen Geräten zugeführt werden, weisen außerordentlich geringe Breiten von einigen 10 bis einigen 100 ns auf, wobei es erforderlich ist, einen Impuls-generator zu verwenden, der eine Hochspannung von mehr als einigen 10 kV zu erzeugen vermag. Ferner beträgt die Energie eines einzelnen Impulses nicht weniger als mindestens einige 10 J und die Wiederholungsfrequenz derartiger Impulse liegt bei nicht weniger als 1 kHz oder darüber. Unter derart schwierigen Bedingungen soll der Hochspannungs-Impulsgenerator stabil arbeiten.

Als Schalter für Hochspannungs-Impulsgeneratoren wird herkömmlicherweise ein Thyatron mit einer Funkenstrecke eingesetzt; deren Lebensdauer ist aber bei Verwendung zur Erzeugung der beschriebenen schmalen Hochleistungsimpulse außerordentlich kurz.

Eine Alternative zu der genannten Einrichtung bildet eine Impuls-Kompressionsschaltung mit mindestens einem Magnetschalter, der von einem Magnetkern aus einer amorphen Legierung gebildet wird. Eine solche Schaltung ist in JP 59-53 704 A, JP 60-96 182 A und US 42 75 317 beschrieben und in Fig. 1 der beigefügten Zeichnungen dargestellt. Fig. 1 zeigt dabei schematisch eine dreistufige Impuls-Kompressionsschaltung mit drei Magnetschaltern S1, S2 und S3, wobei sich nach dem gleichen Prinzip unter Verwendung von n Magnetschaltern eine n-stufige Impuls-Kompressionsschaltung aufbauen läßt. In Fig. 1 sollte zur Erhöhung des Energie-Übertragungsvermögens $C1 = C2$ sein, und die Magnetschalter S1, S2 und S3 sollten sukzessive abnehmende Induktanzen aufweisen.

Erreicht in der Schaltung nach Fig. 1 der erste Kondensator C1 eine vorgegebene Hochspannung V1, so wird ein Schalter SW geschlossen. Zu diesem Zeitpunkt ist der Strom I1 äußerst gering, da der Magnetschalter S1 eine hohe Impedanz aufweist. Wird jedoch der Magnetschalter S1 gesättigt, so wird seine Impedanz extrem klein. Infolgedessen fließt die Ladung des Kondensators C1 augenblicklich in den zweiten Kondensator C2, wodurch der Strom I1 in sehr kurzer Zeit extrem hoch wird. Die Kernkonstante des Magnetschalters S2 bestimmt sich danach, daß der Magnetschalter S2 eine hohe Impedanz beibehalten kann, bis der zweite Kondensator C2 voll aufgeladen ist. Erreicht nun der zweite Kondensator C2 seine volle Hochspannung, so wird der Magnetkern des zweiten Magnetschalters S2 gesättigt, so daß die Ladung des zweiten Kondensators C2 in eine Impulsformierstrecke PFM fließen kann. Durch Wiederholung dieses Vorgangs wird der Impuls komprimiert, wie dies durch I1, I2 und I3 in Fig. 2 gezeigt ist, und der komprimierte Impuls I3 wird an die Last 1 angelegt.

Der für einen derartigen Magnetschalter verwendete Magnetkern muß folgende Eigenschaften aufweisen. Erstens wird der auf diese Weise betriebene Magnetschalter entsprechend der aus den elektromagnetischen Maxwell-Gleichungen abgeleiteten Beziehung magnetisiert:

$$VT = NS \Delta B \quad (1)$$

wobei

V: am Magnetschalter liegende Spannung,

T: Dauer, während der die Spannung anliegt,

N: Windungszahl des magnetischen Schalter-Kerns, und

ΔB : Änderung der Magnetflußdichte

ist.

Unter der Bedingung, daß N und VT konstant sind, wird somit S um so kleiner, je größer ΔB ist, was bedeutet, daß der Kernquerschnitt so weit wie möglich reduziert werden kann, da das Magnetkernvolumen proportional zu $1/(\Delta B)^2$ ist. Das Produkt VT bestimmt sich dabei aus der Bedingung, daß der zweite Magnetschalter S2 eine hohe Impedanz aufweist, bis der zweite Kondensator C2 voll aufgeladen ist. Fig. 3 zeigt schematisch die Magnetisierung eines magnetischen Schalter-Kerns. Da sich der Magnetfluß des Kerns längs der Linie (b) vom Ausgangspunkt $-B_r$ ändert, ergibt sich ein um so erwünschterer Magnetkern, je größer ΔB ($B_r + B_s$) ist, was bedeutet, daß ein Kernwerkstoff um so günstiger ist, je höher seine Sättigungs-Magnetflußdichte B_s und sein Rechteckigkeitsverhältnis (B_r/B_s) sind.

Zweitens ist es erwünscht, daß der Magnetschalter im ungesättigten Bereich eine möglichst hohe Induktanz L_r und im gesättigten Bereich eine möglichst kleine Induktanz L_{sat} aufweist. Dies beruht darauf, daß die Kompression des Impulses proportional zu $(L_{sat}/L_r)^{1/2}$ ist.

Um den Wert von L_{sat} zu verringern, sind folgende Gesichtspunkte wichtig:

- Der Kern sollte ein möglichst hohes Rechteckigkeitsverhältnis aufweisen und seine relative Permeabilität nach der Sättigung sollte möglichst nahe bei 1 liegen.
- Der Magnetkern sollte ein möglichst geringes Kernvolumen aufweisen, und die Induktanz des mittleren Raums sollte so gering wie möglich sein. Diese Bedingung ist im wesentlichen die gleiche wie die oben angegebene erste Bedingung.

Um den Wert von L_r zu erhöhen, kommt es darauf an, die Permeabilität im ungesättigten Bereich zu erhöhen

und die Länge des magnetischen Weges im Kern zu verringern. Für den Magnetkern-Werkstoff ist es wichtig, daß er bei hohen Frequenzen geringe Kernverluste aufweist, da sonst der Wert H_c groß wird und die Steigung der Linie (b) in Fig. 3, die $\mu_r = \Delta B/H_s$ angibt, gering wird. Ferner kommt es darauf an, daß der Magnetkern ein großes ΔB aufweist. Außerdem sollte der Magnetkern einen möglichst kleinen Querschnitt haben.

Drittens sollten zeitliche Schwankungen der obigen Eigenschaften möglichst klein sein.

Insgesamt kommt es bei dem für einen Magnetschalter verwendeten Kernwerkstoff darauf an, daß er eine hohe Sättigungsmagnetflußdichte B_s , ein hohes Rechteckigkeitsverhältnis B_r/B_s , geringe Kernverluste bei hohen Frequenzen und geringe zeitliche Schwankungen in seinen magnetischen Eigenschaften aufweist.

Zur Erfüllung dieser Forderungen sind amorphe Legierungen sehr geeignet, und diese sind auch herkömmlicherweise verwendet worden. Typische amorphe Legierungen mit derartigen Eigenschaften bezüglich B_s , ΔB , μ_r und Kernverlusten sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	Wärmebehandlung-Temperatur (°C)	B_s (T)	ΔB (T)	μ_r	Kernvolumen (Relativwert)	Gesamte Kernverluste (Relativwert)
1	$Fe_{71}B_{13,5}Si_{13,5}C_2$	360	1,60	2,90	1400	1	4,35
2	$Fe_{78}B_{13}Si_9$	400	1,55	2,84	360	1,04	17,1
3	$Fe_{79}B_{16}Si_5$	420	1,58	2,21	4200	1,72	1,45
4	$Fe_{73}Ni_5Si_{13}B_9$	400	1,44	2,75	-1570	1,11	3,87
5	$Co_{73,3}Fe_{0,7}Mn_3Si_{14}B_9$	220	0,83	1,57	6090	3,41	1
6	Mn-Zn-Ferrit	—	0,48	0,72	5700	16,22	1,09

Der Wert μ_r und die Magnetkernverluste werden folgendermaßen bestimmt:

Die Kernverluste werden durch eine Schaltung ausgewertet, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist. Fig. 5 zeigt dabei Impulsdiagramme von Spannung und Strom an verschiedenen Stellen der Schaltung nach Fig. 4, während Fig. 6 den Magnetisierungsvorgang des betrachteten Kerns veranschaulicht.

Wird in der Schaltung nach Fig. 4 der Halbleiterschalter 1 eingeschaltet, so erscheint die in Fig. 5 gezeigte Spannung e_r in einer Wicklung 2 mit einer Polarität, die zu der durch den Punkt in Fig. 4 angedeuteten Polarität entgegengerichtet ist. Unter der Annahme, daß

$$Tr > \frac{2 \cdot Nr \cdot Ae \cdot Bs}{E_r} \quad (2)$$

wobei

Tr : Einschaltperiode des Schalters 4,
 Nr : Windungszahl der Wicklung 2,
 Ae : Effektiver Querschnitt des Kerns 4, und
 E_r : Spannung der Energiequelle 5

bedeutet, ist der Magnetkern 4 bei $-B_s$ im dritten Quadranten der in Fig. 6 gezeigten BH-Schleife gesättigt. Nimmt man nun an, daß

$$Tp > Tr \quad (3)$$

wobei

Tp : die Periode

bedeutet, so beträgt die Magnetflußdichte des Magnetkerns 4 unmittelbar vor dem Einlegen des Hauptschalters 1 einer Torschaltung $-B_r$, was der Remanenz-Magnetflußdichte in der BH-Schleife der Fig. 6 entspricht. Wird nun der Hauptschalter 1 eingelegt, so gilt

$$Ton > \frac{Ng \cdot Ae \cdot (Bs + Br)}{E_g} \quad (4)$$

wobei

Ton : Einschaltperiode des Schalters 1,
 Ng : Windungszahl der Wicklung 6, und
 E_g : Spannung der Energiequelle 7

ist.

Der Magnetkern ist dabei gesättigt und magnetisiert auf einen Wert von

$$H_{Lm} = \frac{N_g \cdot I_{gm}}{\ell_e} \quad (5)$$

wobei

I_{gm} : maximale Impulshöhe des Torstroms I_g und
 ℓ_e : mittlere magnetische Weglänge des Kerns 4

ist. Bei dem obigen Vorgang wird der Magnetkern 4 während einer Periode T_{on} zwischen dem Ein- und dem Ausschalten des Hauptschalters 1 längs der ausgezogenen Linie in Fig. 6 magnetisiert. Dabei besteht die folgende Beziehung:

$$\Delta B = B_s + B_r = \frac{\int_0^{T_0} e_s \cdot dt}{N_s \cdot A_e} \quad (6)$$

wobei

N_s : Windungszahl der Meßspule

bedeutet.

Wie andererseits aus Fig. 6 hervorgeht, ist

$$\mu_r \approx \frac{\Delta B}{2 \cdot \mu_0 \cdot H_r} = \frac{B_s + B_r}{2 \cdot \mu_0 \cdot H_r} \quad (7)$$

Die Magnetkernverluste pro Volumeneinheit eines einzelnen Impulses betragen ferner

$$\frac{P_c}{f} \cdot H_r \cdot B \quad (8)$$

Die gesamten Kernverluste P_{ct} eines Magnetkerns stehen zu P_c in folgender Beziehung:

$$P_{ct} = A_e \cdot \ell_e \cdot P_c \quad (9)$$

Außerdem besteht generell folgende Beziehung:

$$A_e \cdot \ell_e \propto (1/\Delta B)^2 \quad (10)$$

Durch Einsetzen von (9) und (10) in (8) erhält man die Beziehung

$$\frac{P_{ct}}{f} \propto \frac{H_r}{\Delta B} \quad (11)$$

Aus Gleichung (7) ergibt sich

$$\frac{P_{ct}}{f} \propto \frac{1}{\mu_r} \quad (12)$$

Dies bedeutet, daß der Wert P_{ct} um so kleiner wird, je größer μ_r ist. Durch Messung mit dieser Auswerteschaltung läßt sich also verifizieren, daß ein sättigbarer Magnetkern um so kleiner ist, je größer ΔB ist, und daß die gesamten Magnetkernverluste P_{ct}/f eines einzelnen Impulses um so kleiner sind, je größer μ_r ist.

Bei den in Tabelle 1 angeführten Kernen handelt es sich um solche, die aus Bändern einer amorphen Legierung mit einer Dicke von etwa 50 μm und einem jeweils zwischen benachbarte Bänder der amorphen Legierung eingefügten Polyimid-Isolierstreifen mit einer Dicke von 9 μm hergestellt sind. Jeder Kern hat einen Außendurchmesser von 100 mm, einen Innendurchmesser von 60 mm und eine Höhe von 25 mm. Jeder Magnetkern ist unter Anlegen eines Magnetfeldes von 800 A/m parallel zu dem jeweiligen Magnetpfad bei einer optimalen Temperatur wärmebehandelt. Zum Vergleich ist auch ein Mn/Zn-Ferritkern gleicher Größe gemessen worden, dessen Daten ebenfalls in Tabelle 1 eingetragen sind. Unter Anwendung der Beziehung, wonach das Kernvolumen proportional zu $1/(\Delta B)^2$ ist, läßt sich dabei das Volumen jedes Magnetkerns anhand von ΔB berechnen, wobei für das Volumen des Kerns Nr. 1 ein Wert von 1 angenommen ist.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, weist der Ferritkern wesentlich geringere Kernverluste auf als der amorphe Legierungskern (Nr. 1), doch wegen des geringen Wertes von ΔB ist sein Volumen etwa 16mal größer als das des

Kerns Nr. 1. Da ein Kern aus amorpher Legierung einen geringen Füllfaktor (Verhältnis des Bandes aus amorpher Legierung zum scheinbaren Kernvolumen) aufweist, ist sein tatsächliches Volumen in Tabelle 1 nicht eingetragen. Selbst wenn aber der Kern Nr. 1 einen Füllfaktor von 0,60 hat, ist der Ferritkern immer noch etwa sechsmal so groß.

Wie aus Tabelle 1 ferner ersichtlich, haben die amorphen Legierungen als Kernwerkstoffe für Magnetschalter zwar bessere Eigenschaften als der Ferrit, doch weisen die amorphen Legierungen mit kleinen Kernvolumina große Kernverluste auf und umgekehrt. Es gibt also keine amorphen Legierungen als Kernwerkstoffe, bei denen die magnetischen Eigenschaften gut ausgeglichen sind. Dabei werden die amorphen Legierungen speziell in Eisen- und in Kobaltlegierungen klassifiziert, wobei die amorphen Eisenlegierungen hohe B_s -Werte und Kernverluste aufweisen, während die amorphen Kobaltlegierungen geringe Kernverluste und B_s -Werte haben. Aus diesem Grund sind die bisher entwickelten Kerne aus amorphen Legierungen nicht unbedingt befriedigend.

Hinzu kommt, daß die amorphen Legierungen keine ausreichende zeitliche Stabilität aufweisen.

Im Hinblick auf die oben geschilderten Probleme bei herkömmlichen amorphen Legierungen war es erwünscht, einen Hochspannungs-Impulserzeuger mit mindestens einem Magnetschalter zu entwickeln, wobei der Magnetschalter aus einem neuen Werkstoff mit hohem B_s , geringen Kernverlusten und hoher zeitlicher Stabilität besteht.

Die Aufgabe der Erfindung besteht somit darin, einen Hochspannungs-Impulserzeuger mit mindestens einem Magnetschalter anzugeben, dessen Magnetkern aus einer weichmagnetischen Eisenlegierung besteht, deren magnetische Eigenschaften gut ausgeglichen sind.

Die Lösung dieser Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Die angegebene Legierung ist an sich bereits aus der EP 02 71 657 A2 bekannt, die einen älteren Zeitrang aufweist, aber nicht vorveröffentlicht ist. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachstehend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer mehrstufigen Impuls-Kompressionsschaltung als Hochspannungs-Impulsgenerator.

Fig. 2 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Kompression eines Impulses.

Fig. 3 ein Diagramm zur Erläuterung der Magnetisierung eines magnetischen Schalter-Kerns.

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Schaltung zur Auswertung des Magnetkerns.

Fig. 5 ein Diagramm der Impulsformen von Spannung und Strom an verschiedenen Stellen der Kern-Auswerterschaltung nach Fig. 4.

Fig. 6 ein Diagramm des Magnetisierungsmusters des Kerns zur Erläuterung der Werte H_r und μ_r .

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Oszillationsschaltung für einen Excimer-Laser.

Fig. 8 eine schematische perspektivische Darstellung eines Magnetschalters mit mehreren in Serie geschalteten Kernen.

Fig. 9 ein Diagramm des Röntgen-Beugungsmusters einer amorphen Eisenlegierung.

Fig. 10 (a) ein Diagramm des Röntgen-Beugungsmusters der weichmagnetischen Eisenlegierung gemäß der Erfindung, und

Fig. 10 (b) eine schematische Darstellung der Mikrostruktur der weichmagnetischen Eisenlegierung, aufgenommen mittels eines Transmissions-Elektronenmikroskops.

Bei der weichmagnetischen Eisenlegierung zur Erzeugung eines Magnetkerns zur Verwendung in einem erfindungsgemäßen Hochspannungs-Impulsgenerator kann Fe in einem Bereich von 0 bis 0,5 durch Co und/oder Ni ersetzt werden. Überschreitet der Gehalt an den Wert 0,5, so verschlechtert sich die Permeabilität μ_r des Magnetkerns. Um andererseits die Legierung mit geringer Magnetostriktion und hohem μ_r auszustatten, liegt der Gehalt an Co und/oder Ni vorzugsweise zwischen 0 und 0,1.

Bei der vorliegenden Erfindung ist Cu ein unverzichtbares Element, und sein Gehalt x beträgt 0,1 bis 3 Atom-%. Unter 0,1 Atom-% läßt sich durch den Zusatz von Cu keine wesentliche Wirkung im Sinne einer Reduzierung der Kernverluste oder Erhöhung der Permeabilität erzielen. Überschreitet der Cu-Gehalt 3 Atom-%, so nimmt die Permeabilität μ_r der Legierung in unerwünschter Weise ab. Der bevorzugte Cu-Gehalt der vorliegenden Erfindung liegt im Bereich von 0,5 bis 2 Atom-%, in dem die Kernverluste besonders gering sind und die Permeabilität μ_r hoch ist.

Die Gründe, aus denen durch Zusatz von Cu die Kernverluste abnehmen und die Permeabilität zunimmt, sind nicht völlig klar, können aber folgendermaßen angenommen werden:

Da Cu und Fe einen positiven Wechselwirkungsparameter haben, der ihre Löslichkeit gering macht, haben Eisenatome und Kupferatome die Tendenz, sich bei einer Wärmebehandlung in separaten Anhäufungen zu sammeln, wodurch Schwankungen in der Zusammensetzung hervorgerufen werden. Dies wiederum erzeugt eine Menge von Bezirken, die leicht kristallisieren und Kerne zur Erzeugung von feinen Kristallteilchen bilden. Diese Kristallteilchen sind solche auf der Basis von Fe, wobei, da Cu in Fe im wesentlichen unlöslich ist, Cu aus den feinen Kristallteilchen ausgestoßen wird, wodurch der Cu-Gehalt in der Nähe der Kristallteilchen hoch wird. Dadurch wird vermutlich das Wachstum der Kristallteilchen unterdrückt.

Wegen der Bildung einer großen Anzahl von Zentren und der Unterdrückung des Wachstums der Kristallteilchen durch den Cu-Zusatz werden die Kristallteilchen fein, und dieses Phänomen wird durch den Einschluß von Nb, Ta, W, Mo, Zr, Hf oder Ti beschleunigt.

Ohne den Zusatz von Cu haben die Kristallteilchen nicht die Tendenz, fein zu werden. Statt dessen bildet sich leicht eine Verbindungsphase, die kristallisiert und dadurch die magnetischen Eigenschaften der Legierung verschlechtert.

Si und B sind Elemente, die insbesondere dazu dienen, die Legierungsstruktur fein zu machen. Diese Funktion ist wichtig, da die weichmagnetische Eisenlegierung erwünschtermaßen dadurch hergestellt wird, daß zunächst

eine amorphe Legierung mit Zusatz von Si und B und anschließend durch Wärmebehandlung feine Kristallteilchen gebildet werden.

Si und B dienen ferner zur Steuerung der Magnetostriktion der Legierung.
Der Si-Gehalt y und der B-Gehalt z erfüllen folgende Bedingungen:

$$6 \leq y \leq 25 \text{ Atom-\%}, 3 \leq z \leq 15 \text{ Atom-\%}, \text{ und } 14 \leq y + z \leq 30 \text{ Atom-\%}.$$

Überschreitet y 25 Atom-%, so weist die sich ergebende Legierung unter der Bedingung guter Permeabilität eine verhältnismäßig hohe Magnetostriktion auf; ist y kleiner als 6 Atom-%, so wird eine ausreichende Permeabilität nicht notwendigerweise erreicht. Die Gründe für die Begrenzung des B-Gehalts z bestehen darin, daß dann, wenn z 3 Atom-% unterschreitet, sich eine gleichmäßige kristalline Teilchenstruktur nicht leicht erzielen läßt, wodurch die Permeabilität in gewisser Weise beeinträchtigt wird, und daß dann, wenn z 15 Atom-% überschreitet, die resultierende Legierung infolge der zur Erzielung einer guten Permeabilität notwendigen Wärmebehandlung eine verhältnismäßig große Magnetostriktion aufweist. Hinsichtlich des Gesamtgehalts ($y + z$) von Si und B gilt, daß dann, wenn $y + z$ kleiner als 14 Atom-%, es oft schwierig ist, amorphe Legierungen herzustellen, was zu verhältnismäßig schlechten magnetischen Eigenschaften führt, und daß dann, wenn $y + z$ 30 Atom-% überschreitet, eine extreme Abnahme der Sättigungs-Magnetflußdichte, Verschlechterung der weichmagnetischen Eigenschaften und Zunahme der Magnetostriktion auftreten. Vorzugsweise liegen die Gehalte von Si und B bei $10 \leq y \leq 25$, $3 \leq z \leq 12$ und $18 \leq y + z \leq 28$, wobei dieser Bereich eine Legierung mit hervorragenden weichmagnetischen Eigenschaften, insbesondere einer Sättigungs-Magnetostriktion im Bereich von -5×10^{-6} bis $+5 \times 10^{-6}$ ergibt. Ein besonders bevorzugter Bereich liegt bei $11 \leq y \leq 24$, $3 \leq z \leq 9$ und $18 \leq y + z \leq 27$, und dieser Bereich führt zu einer Legierung mit einer Sättigungs-Magnetostriktion im Bereich von $-1,5 \times 10^{-6}$ bis $+1,5 \times 10^{-6}$.

Bei der vorliegenden Erfindung bewirkt M' bei gleichzeitigem Zusatz von Cu, daß die ausfallenden Kristallteilchen fein werden. Bei M' handelt es sich um mindestens eines der Elemente Nb, W, Ta, Cr, Hf, Ti und Mo. Diese Elemente haben die Funktion, die Kristallisationstemperatur der Legierung zu erhöhen, und haben synergistisch mit Cu die Wirkung, Anhäufungen zu bilden und dadurch die Kristallisationstemperatur zu erniedrigen, wodurch das Wachstum der ausfallenden Kristallteilchen unterdrückt wird und diese fein werden.

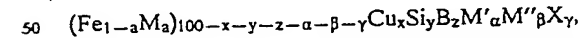
Der M' -Gehalt α beträgt 1 bis 10 Atom-%. Liegt er unter 1 Atom-%, so lassen sich keine ausreichenden weichmagnetischen Eigenschaften erzielen; überschreitet er 10 Atom-%, so tritt eine extreme Abnahme in der Sättigungs-Magnetflußdichte auf. Der bevorzugte M' -Gehalt liegt zwischen 2 und 8 Atom-%, was zu besonders hervorragenden weichmagnetischen Eigenschaften führt. Als Element für M' ist am meisten bevorzugt Mb und/oder Mo, insbesondere Mb hinsichtlich der magnetischen Eigenschaften. Der Zusatz von M' verleiht der weichmagnetischen Eisenlegierung eine ebenso hohe Permeabilität, wie sie hochpermeablen Co-Werkstoffen zueigen ist.

M'' , bei dem es sich um mindestens eines der Elemente V, Cr, Mn, Al, der Elemente der Platingruppe, Sc, Y, der seltenen Erden, Au, Zn, Sn und Re handelt, wird zugesetzt, um die Korrosionsfestigkeit und die magnetischen Eigenschaften zu verbessern und die Magnetostriktion einzustellen; sein Gehalt beträgt jedoch höchstens 10 Atom-%. Überschreitet der M'' -Gehalt 10 Atom-%, so ergibt sich eine äußerst starke Abnahme der Sättigungs-Magnetflußdichte. Ein besonders bevorzugter Wert für den M'' -Gehalt liegt bei 8 Atom-% oder weniger.

Unter den genannten Elementen führt die Anwesenheit mindestens eines der Elemente Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au, Cr und V zu besonders herausragender Korrosionsbeständigkeit und Abriebfestigkeit der Legierung.

Die weichmagnetische Eisenlegierung kann bis zu 10 Atom-% X enthalten, wobei es sich um mindestens eines der Elemente C, Ge, P, Ga, Sb, In, Be und As handelt. Diese Elemente bewirken, daß die Legierung amorph wird; werden sie gemeinsam mit Si und B zugesetzt, so helfen sie, die Legierung amorph zu machen, und bewirken ferner eine Einstellung der Magnetostriktion und der Curie-Temperatur der Legierung. Der bevorzugte X-Gehalt beträgt 5 Atom-% oder weniger.

In der weichmagnetischen Eisenlegierung der generellen Formel



gelten insgesamt für die in Atom-% angegebenen Größen a , x , y , z , α , β und γ die allgemeinen Bereiche

$$\begin{aligned} 0 &\leq a \leq 0,5 \\ 0,1 &\leq x \leq 3 \\ 6 &\leq y \leq 25 \\ 3 &\leq z \leq 15 \\ 14 &\leq y + z \leq 30 \\ 1 &\leq \alpha \leq 10 \\ 0 &\leq \beta \leq 10 \\ 0 &\leq \gamma \leq 10, \end{aligned}$$

und die bevorzugten Bereiche

$$\begin{aligned} 65 \quad 0 &\leq a \leq 0,1 \\ 0,5 &\leq x \leq 2 \\ 10 &\leq y \leq 25 \\ 3 &\leq z \leq 12 \end{aligned}$$

$$18 \leq y + z \leq 28$$

$$2 \leq \alpha \leq 8$$

$$\beta \leq 8$$

$$\gamma \leq 5$$

In der weichmagnetischen Eisenlegierung mit der obigen Zusammensetzung bestehen mindestens 50% der Legierungsstruktur aus feinen Kristallteilchen. Diese Kristallteilchen basieren auf α -Fe mit einer bcc-Struktur, in der Si und B usw. gelöst sind. Die Kristallteilchen haben eine extrem kleine mittlere Teilchengröße von 50 nm oder weniger und sind in der Legierungsstruktur gleichmäßig verteilt. Die mittlere Teilchengröße der Kristallteilchen wird dabei durch Messung der maximalen Größe jedes Teilchens und Mittelwertbildung bestimmt. Überschreitet die mittlere Teilchengröße 50 nm, so werden keine guten weichmagnetischen Eigenschaften erzielt. Vorzugsweise beträgt sie 20 nm oder weniger, insbesondere 5 bis 20 nm. Der von den feinen Kristallteilchen verschiedene restliche Teil der Legierungsstruktur ist hauptsächlich amorph. Selbst wenn die feinen Kristallteilchen im wesentlichen 100% der Legierungsstruktur ausmachen, weist die erfindungsgemäße weichmagnetische Eisenlegierung ausreichend gute magnetische Eigenschaften auf.

Die weichmagnetische Eisenlegierung kann im wesentlichen aus den genannten feinen Kristallteilchen aufgebaut sein, doch kann ihre Legierungsstruktur eine amorphe Phase, eine Verbindungsphase wie etwa Fe_2B , Nb usw. und reguläre Phasen wie etwa Fe_3Si usw. enthalten. Da jedoch die Verbindungsphasen wie etwa Fe_2B dazu neigen, die magnetischen Eigenschaften zu verschlechtern, sollten sie in möglichst geringem Umfang vorliegen.

Hinsichtlich unvermeidbarer Verunreinigungen wie etwa N, O, S usw., ist zu beachten, daß deren Einschluß in Mengen, die die gewünschten Eigenschaften nicht beeinträchtigen, als die für Magnetkerne usw. geeignete Legierungszusammensetzung nicht ändernd betrachtet werden.

Im folgenden soll ein Verfahren zur Erzeugung der erfindungsgemäßen weichmagnetischen Eisenlegierung im einzelnen erläutert werden.

Zunächst wird eine Schmelze der obigen Zusammensetzung nach einem bekannten Flüssig-Abschreckverfahren, etwa einem Einwalzen-Verfahren, einem Doppelwälzen-Verfahren usw., unter Bildung von Bändern aus amorpher Legierung rasch abgeschreckt. Gewöhnlich weisen nach dem Einwalzen-Verfahren usw. hergestellte Bänder aus amorpher Legierung eine Dicke von etwa 5 bis 100 μm auf, wobei Dicken von 25 μm oder geringer als Magnetkernwerkstoffe zur Verwendung in Magnetschaltern besonders geeignet sind.

Diese amorphen Legierungen können Kristallphasen enthalten, doch ist die Legierungsstruktur vorzugsweise amorph, um die Bildung von gleichmäßigen feinen Kristallteilchen in einer nachfolgenden Wärmebehandlung sicherzustellen.

Die amorphen Bänder werden gewickelt, gestanzt, geätzt oder einer sonstigen Bearbeitung zur Erzielung gewünschter Formen vor der Wärmebehandlung unterzogen, da sie im amorphen Zustand gut bearbeitbar sind, nach der Kristallisierung dagegen ihre Bearbeitbarkeit verlieren.

Zur Wärmebehandlung wird das auf die gewünschte Form bearbeitete amorphe Legierungsband im Vakuum, oder in einer Inertgasatmosphäre, etwa Wasserstoff, Stickstoff, Argon usw., erwärmt. Temperatur und Dauer der Wärmebehandlung hängen von der Zusammensetzung des amorphen Legierungsbandes, von der Form und Größe der aus dem Band herzustellenden Magnetkerne und ähnlichen Faktoren ab; im allgemeinen wird eine Wärmebehandlung bei 450 bis 700°C während einer Dauer von 5 min bis 24 h bevorzugt. Liegt die Temperatur der Wärmebehandlung unter 450°C, so findet eine Kristallisation nicht leicht statt, weshalb für die Wärmebehandlung zu viel Zeit erfordert wird. Überschreitet die Temperatur andererseits 700°C, so besteht die Tendenz, daß sich grobe Kristallpartikel bilden, wodurch es schwierig wird, feine Kristallpartikel zu erzielen. Ist die Wärmebehandlungsdauer kürzer als 5 min, so ist es schwierig, die gesamte bearbeitete Legierung auf eine gleichmäßige Temperatur zu erwärmen, was zu ungleichmäßigen magnetischen Eigenschaften führt; ist die Dauer länger als 24 h, so wird die Produktivität zu gering, und die Kristallteilchen wachsen übermäßig, was zu einer Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften führt. Die bevorzugten Bedingungen der Wärmebehandlung liegen unter Berücksichtigung praktischer Gesichtspunkte, einer gleichmäßigen Temperatursteuerung und dergleichen Faktoren bei 500 bis 650°C und 5 min bis 6 h.

Die Wärmebehandlung findet vorzugsweise in einer Inertgasatmosphäre statt; es kann jedoch auch eine oxidierende Atmosphäre, etwa Luft, verwendet werden. Die Abkühlung kann in geeigneter Weise an der Luft oder in einem Ofen erfolgen. Ferner kann die Wärmebehandlung in mehreren Schritten durchgeführt werden: Es ist auch möglich, die Wärmebehandlung des Magnetkerns durch Zuführung von Strom oder Anlegen eines hochfrequenten Magnetfeldes unter Erzeugung von Wärme im Kern durchzuführen.

Ferner kann die Wärmebehandlung in einem Magnetfeld erfolgen, um der Legierung eine magnetische Anisotropie zu erteilen. Wird bei der Wärmebehandlung ein Magnetfeld parallel zum Magnetpfad im Kern angelegt, so weist der resultierende wärmebehandelte Magnetkern in seiner BH-Schleife gute Rechteckigkeit auf, was den Wert von ΔB erhöht.

Das Magnetfeld braucht nicht ständig während der Wärmebehandlung anzuliegen, sondern ist nur erforderlich, wenn sich die Legierung auf einer Temperatur unter der Curie-Temperatur T_c befindet. Bei der vorliegenden Erfindung hat die Legierung wegen der Kristallisation eine höhere Curie-Temperatur als ihr amorphes Pendant, so daß die Wärmebehandlung im Magnetfeld bei Temperaturen durchgeführt werden kann, die über der Curie-Temperatur der entsprechenden amorphen Legierung liegen. Erfolgt die Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, so kann sie auch in zwei oder mehr Schritten ausgeführt werden. Ferner kann während der Wärmebehandlung auch ein rotierendes Magnetfeld anliegen.

Zur Verbesserung der magnetischen Eigenschaften des Kerns können bei der Wärmebehandlung auch Zug- oder Druckkräfte an den Magnetkern angelegt werden.

Zur Verwendung des Magnetkerns für einen Magnetschalter, an dem Hochspannung anliegt, ist es zweckmä-

Big, eine oder beide Bandoberflächen teilweise oder vollständig mit einer Isolierschicht zu überziehen, um elektrische Entladungen zwischen benachbarten Bandlagen zu verhindern. Diese Isolierschicht kann durch verschiedene Verfahren erzeugt werden. Beispielsweise kann sie durch Auftragen von Isolierpulver, etwa SiO_2 , MgO , Al_2O_3 usw., auf die Bandoberfläche mittels Eintauchen, Sprühen, Elektrophorese und dergleichen erzeugt werden. Eine dünne Schicht aus SiO_2 und dergleichen kann ferner durch Sputtern oder Aufdampfen erzeugt werden. Alternativ kann ein Gemisch aus einer Lösung von modifiziertem Alkylsilikat in Alkohol mit einer Säure auf das Band aufgetragen werden. Ferner kann durch Wärmebehandlung eine Forsterit (MgSiO_4)-Schicht erzeugt werden. Auch ein durch teilweises Hydrolysieren eines SiO_2 - TiO_2 -Metallalkoxids erhaltenes Sol kann mit verschiedenen keramischen Pulvern gemischt und das resultierende Gemisch auf das Band aufgetragen werden. Des weiteren kann eine hauptsächlich Polytitanocarbosilan enthaltende Lösung auf das Band aufgetragen und anschließend erhitzt werden. Ferner kann eine Phosphatlösung aufgetragen und erwärmt werden. Zusätzlich kann die Isolierschicht aus Chromoxid oder Siliciumoxid bestehen, das durch Oxidation der Bandoberfläche gebildet wird. Oder es kann ein Nitrid bildender Stoff aufgetragen werden, um eine Isolierschicht zu erzeugen.

Der gewickelte Kern kann aus dem Legierungsband und einem zwischen die benachbarten Bandlagen eingefügten Isolierstreifen bestehen. Dieser Wickelkern kann dadurch erzeugt werden, daß der Isolierstreifen auf das Band aufgelegt und diese Kombination dann gewickelt wird. Der Isolierstreifen kann aus Polyimid, Keramikfasermaterial, Polyester, Aramid, Glasfasern usw. bestehen.

Wird ein hochwärmeisolierender Streifen verwendet, so kann der diesen Streifen enthaltende Kern einer Wärmebehandlung unterworfen werden.

Im Falle eines geschichteten Kerns wird zwischen die benachbarten Lagen ein isolierender dünner Film eingefügt, um zwischen den aus der Legierungslagen eine Isolierung herbeizuführen. In diesem Fall können unflexible Werkstoffe, etwa Keramik, Glas, Glimmer usw. für den isolierenden dünnen Film verwendet werden. Beim Einsatz solcher Werkstoffe kann eine Wärmebehandlung nach dem Schichtaufbau durchgeführt werden.

Der aus einem weichmagnetischen Eisenlegierungsband aufgebaute Magnetkern ist selbst bei Imprägnierung mit Kunstharzen keiner extremen Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften ausgesetzt, wie sie gewöhnlich bei herkömmlichen Magnetkernen aus amorpher Eisenlegierung festzustellen ist. Die Kunstharz-Imprägnierung erfolgt üblicherweise nach der Wärmebehandlung; bei Verwendung eines wärmefesten Imprägniermittels kann sie jedoch auch vorher durchgeführt werden. Außerdem können in diesem Fall die Kunstharz-Imprägnierung und die Wärmebehandlung gleichzeitig durchgeführt werden.

Zu den Imprägniermitteln gehören Epoxiharze, Polyimidharze, Firnisse auf der Basis von modifizierten Alkylsilikaten, Silikonharze und dergleichen.

Wird das amorphe Band im Einwalzenverfahren hergestellt, so kann es so gewickelt werden, daß seine mit der Walzenoberfläche in Berührung stehende Oberfläche innen oder außen zu liegen kommt. Wird es jedoch zusammen mit einem Isolierstreifen gewickelt, so sollte die mit der Walzenoberfläche in Berührung gekommene Bandoberfläche außen liegen, um den Füllfaktor des resultierenden Wickelkerns zu erhöhen. Zur weiteren Erhöhung des Füllfaktors ist es zweckmäßig, beim Wickeln eine Spannung aufzubringen.

Im Falle des Wickelkerns sollten das innere und das äußere Ende des Bandes am Wickelkörper befestigt werden, um ein Lockern des Wickelkerns zu verhindern. Die Befestigung der Bandenden kann durch Aufbringen von Laserstrahl- oder elektrischer Energie auf die Fixierstellen oder durch Verwendung eines Klebstoffs oder eines Klebestreifens erfolgen.

Bei einem Magnetkern mit fixierten Bandenden besteht keine Gefahr des Lockerns während oder auch nach der Wärmebehandlung; außerdem läßt sich ein solcher Kern leicht handhaben.

Die resultierenden Magnetkerne können in Serie miteinander oder mit Magnetkernen anderer Werkstoffe kombiniert werden.

Dabei kann es erwünscht sein, das Band aus weichmagnetischer Eisenlegierung mit korrosionsbeständigen Metallen zu metallisieren, um eine Korrosion zu verhindern. Ferner kann nach dem Aufwickeln auf einen mittleren Kern aus nicht-magnetischen Metallen oder isolierenden Werkstoffen der resultierende Magnetkern mit einem Streifen oder Band umwickelt werden.

Der Mittelkern und der Umwickelstreifen können auch nichtmagnetischen Werkstoffen wie etwa nicht-rostemdem Stahl, Messing, Aluminium, Phenolharzen, Keramik usw. bestehen.

Insbesondere dort, wo Rost ein ernsthaftes Problem ist, wird zur Kühlung des Magnetkerns eine zirkulierende Strömung von Kühlöl hoher Durchbruchspannung in dem Magnetkern eingerichtet.

Handelt es sich um einen großen Magnetkern, so kann in seiner Mitte oder an seinem Rand eine Metallstütze angeordnet werden, oder der Kern kann mit einem Metallgürtel befestigt werden, so daß er nicht deformiert.

Insbesondere dann, wenn der Magnetkern eine Magnetostriktion von nur -5×10^{-6} bis $+5 \times 10^{-6}$ aufweist, läßt sich die Gefahr eines Bruchs der Isolierschicht und der Verschlechterung der Permeabilität nur aufgrund magnetomechanischer Resonanz verringern, wodurch ein Hochspannungs-Impulsgenerator hoher Zuverlässigkeit erzielt wird.

Da ferner die bei der vorliegenden Erfindung verwendete weichmagnetische Eisenlegierung auf feinen Kristallphasen basiert, ist ihre induzierte magnetische Anisotropie geringer als bei amorphen Kobalt- und Eisenlegierungen. Infolgedessen weist ein Magnetkern aus der weichmagnetischen Eisenlegierung magnetische Eigenschaften auf, die sich zeitlich weniger ändern.

Die Erfindung soll nun anhand der folgenden Beispiele im einzelnen erläutert werden, ohne sie auf diese zu beschränken.

Beispiel 1

Eine Schmelze mit einer Zusammensetzung (in Atom-%) von 1% Cu, 16,5% Si, 6% B, 3% Nb, Rest im wesentlichen Fe, wurde nach dem Einwalzenverfahren zu einem Band von 25 mm Breite und 15 μ m Dicke geformt. Das Röntgen-Beugungsmuster dieses Bandes zeigte ein Halo-Muster, wie es für eine amorphe Legierung eigentümlich und in Fig. 9 gezeigt ist.

Sodann wurde dieses amorphe Legierungsband mit einer MgO-Schicht einer Dicke von etwa 3 μ m mittels eines Elektrophorese-Verfahrens beschichtet und anschließend zu einem torusförmigen Wickelkern mit einem Innendurchmesser von 60 mm und einem Außendurchmesser von 100 mm geformt. Der Toruskern wurde in einer Stickstoff-Gasatmosphäre wärmebehandelt. Während der gesamten Dauer dieser Wärmebehandlung wurde der Kern einem Magnetfeld von 80 A/m parallel zum Magnetfeld des Kerns (in Längsrichtung des Bandes) ausgesetzt. Die Wärmebehandlung wurde durch Erhitzen des Kerns auf 510°C mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 10°C/min durchgeführt, woraufhin er auf dieser Temperatur eine Stunde lang gehalten und anschließend mit einer Geschwindigkeit von 2,5°C/min auf Zimmertemperatur abgekühlt wurde.

Das Röntgen-Beugungsmuster der Legierung nach der Wärmebehandlung wies Spitzen der Kristallphasen auf, wie sie in Fig. 10 (a) dargestellt sind. Fig. 10 (b) zeigt schematisch eine Transmissions-Elektronenphotomikrographie des Bandes nach der Wärmebehandlung.

Anhand der Transmissions-Elektronenphotomikrographie wurde festgestellt, daß der Hauptteil der Mikrostruktur des Bandes nach der Wärmebehandlung aus feinen Kristallteilchen bestand. Diese Kristallteilchen hatten eine mittlere Teilchengröße von etwa 10 nm. Die sowohl Cu als auch Nb enthaltende Legierung zur Verwendung in Magnetschaltern von Hochspannungsimpulsgeneratoren gemäß der vorliegenden Erfindung enthielten Kristallteilchen einer etwa kugelförmigen Gestalt mit einer mittleren Teilchengröße von etwa 10 nm. Aus dem Röntgen-Beugungsmuster und der Transmissions-Elektronenphotomikrographie wurde bestätigt, daß die Kristallteilchen aus einer festen Fe-Lösung mit bcc-Struktur bestanden, in der Si usw. gelöst waren. War kein Cu enthalten, so hatten die Kristallteilchen die Tendenz zu übermäßigem Wachstum, und es bildeten sich leicht Verbindungsphasen, was zu verschlechterten weichmagnetischen Eigenschaften führte. Somit wurde bestätigt, daß der Zusatz von sowohl Cu als auch Nb zu einer äußerst starken Änderung hinsichtlich Größe und Gestalt der Kristallteilchen führte.

Sodann wurde der der Wärmebehandlung unterzogene Toruskern mit Hilfe eines Gleichfeldmagnetisierungs-Meßgeräts und der Auswertung nach Fig. 4 ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Zum Vergleich wurden auch die Probe Nr. 1 der Tabelle 1 sowie eine Probe aus $\text{Co}_{69,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Mn}_{16}\text{Si}_{15}\text{B}_9$, die mit MgO überzogen waren, vermessen und deren Ergebnisse in Tabelle 2 eingetragen.

Tabelle 2

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	Wärmebehandlungstemperatur (°C)	B _s (T)	ΔB (T)	μ_r	Kernvolumen (Relativwert)	Gesamte Kernverluste (Relativwert)
1	$\text{Fe}_{83,1}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{16,5}\text{B}_6$	510	1,20	2,28	6100	0,92	0,84
2	$\text{Fe}_{83,1}\text{B}_{13,5}\text{Si}_{13,5}\text{C}_2$	360	1,60	2,19	800	1	6,38
3	$\text{Co}_{69,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Mn}_{16}\text{Si}_{15}\text{B}_9$	220	0,83	1,53	5100	2,05	1

Anmerkung:

Probe Nr. 1: Beispiel der Erfindung

Proben Nr. 2, 3: Herkömmliche Legierung

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, hat der erfindungsgemäße Magnetkern ein kleineres Kernvolumen und geringere Kernverluste als der Kern aus der amorphen Eisenlegierung (Nr. 1) und der aus der amorphen Kupferlegierung (Nr. 5). Zu beachten ist, daß die amorphe Eisenlegierung ein geringes ΔB , jedoch ein hohes B_s aufweist. Dies kommt daher, daß die amorphe Eisenlegierung hohe Magnetostriktion aufweist und deshalb die aus der MgO-Beschichtung resultierende Spannung dazu führt, daß sich das Rechteckigkeitsverhältnis nicht erhöhen kann.

Als nächstes wurden der obige, erfindungsgemäße Magnetkern und diejenigen der Proben Nr. 1 und 5 in einen Magnetschalter in der Schaltung nach Fig. 7 zur Erzeugung der Schwingung eines Excimer-Lasers eingesetzt.

Der Vergleich wurde in einem praktischen Gerät durchgeführt, bei dem für einen Magnetschalter gemäß Fig. 8 sechs Magnetkerne in Serie verwendet wurden, wobei jeder Kern einen Außendurchmesser von 170 mm, einen Innendurchmesser von 80 mm und eine Höhe von 25 mm mit einer MgO-Isolation und einem Füllfaktor von 64% aufwies. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 gezeigt.

Tabelle 3

	Erfindungsgemäße Legierung	Herkömmliche Legierungen	
5			
	Zusammensetzung (Atom-%)	$\text{Fe}_{\text{Rest}}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{16,5}\text{B}_6$	$\text{Co}_{73,3}\text{Fe}_{0,7}\text{Mn}_3\text{Si}_{14}\text{B}_9$
	Kapazität (nF)	$C_1/C_2=15/15$	$C_1/C_2=15/15$
10	Kompressionsverhältnis	5,0	4,5
	SR-Kernverluste (J)	0,85	1,2
	Kondensatorenergie- Übertragungsvermögen (%)	84	75
15	Laser-Energie (mJ)	89	78

Wie aus Tabelle 3 deutlich wird, ist es für eine Miniaturisierung des Magnetkerns und für eine Erhöhung des Kompressionsverhältnisses wichtig, daß ΔB groß ist; bei großen Kernverlusten sinkt jedoch das Energie-Übertragungsvermögen, wodurch die Laser-Ausgangsenergie extrem herabgesetzt wird. Wird ferner der Vorgang mehrmals wiederholt, so steigt die Temperatur des Magnetkerns durch die hohe Wärmeentwicklung infolge der Kernverluste. Bei einem Magnetkern-Werkstoff für einen Magnetschalter ist daher in erster Linie auf die Kernverluste und erst danach auf den Wert von ΔB zu achten.

Überprüft man Tabelle 3 in dieser Hinsicht, so stellt man fest, daß der mit der weichmagnetischen Eisenlegierung gemäß der Erfindung arbeitende Excimer-Laser ein hohes Übertragungsvermögen für die Kondensatorenergie und ein ausreichendes Kompressionsverhältnis aufweist, verglichen mit Geräten, in denen herkömmliche amorphe Eisen- oder Kobalt-Legierungen eingesetzt werden.

Beispiel 2

Eine aus 1% Cu, 3% Nb, 13,5% Si, 9% B, Rest Fe (jeweils in Atom-%) bestehende Schmelze wurde nach dem Einwalzenverfahren zu einem Band mit 15 μm Dicke und 25 mm Breite verformt. In der Röntgen-Beugungsanalyse zeigte dieses Band ein Halo-Muster, wie es für eine amorphe Legierung eigentümlich ist. Die Kristallisationstemperatur dieser Legierung wurde nach der Differential-Abtastkalorimetrie (DSC) bei einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 10°C/min gemessen und ergab sich mit 508°C. Dieses Legierungsband wurde sodann mit einer MgO-Isolierschicht einer Dicke von etwa 3 μm beschichtet und sodann zu einem Toruskern von 100 mm Außendurchmesser, 60 mm Innendurchmesser und 25 mm Höhe gewickelt.

Dieser Kern wurde in einer gasförmigen N_2 -Atmosphäre wärmebehandelt. Die Behandlung wurde unter Erwärmung des Kerns auf 550°C mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 20°C/min durchgeführt, woraufhin diese Temperatur eine Stunde lang beibehalten und der Kern anschließend mit einer Geschwindigkeit von 2°C/min auf 250°C abgekühlt wurde. Während des gesamten Verfahrens wurde ein Magnetfeld mit 800 A/m angelegt. Danach wurde das Magnetfeld abgeschaltet und der wärmebehandelte Magnetkern aus dem Ofen entnommen und durch Blasen mit einem Stickstoff-Gasstrom auf Zimmertemperatur abgekühlt.

Mittels Transmissions-Elektronenmikroskopie und Röntgen-Beugungsanalyse wurde festgestellt, daß der Kernwerkstoff des wärmebehandelten Magnetkerns die gleiche Mikrostruktur wie in Beispiel 1 aufwies.

Der erfindungsgemäße Magnetkern hatte Werte von $B_s=1,24\text{ T}$, $\Delta B=2,35\text{ T}$ und $\mu_r=6300$. Sein Kernvolumen betrug 0,87 und seine gesamten Kernverluste 0,81, verglichen mit Tabelle 2. Evident ist der erfindungsgemäße Magnetkern in allen diesen Eigenschaften den aus herkömmlichen amorphen Legierungen hergestellten Magnetkernen überlegen.

Beispiel 3

Eine aus 1% Cu, 3% Nb, 7% Si, 9% B, Rest Fe (jeweils in Atom-%) bestehende Schmelze wurde mittels eines Einwalzenverfahrens zu einem Band mit 18 μm Dicke und 25 mm Breite verformt. Die Röntgen-Beugungsanalyse zeigte das für eine amorphe Legierung eigentümliche Halo-Muster. Die Kristallisationstemperatur dieser Legierung wurde mit Hilfe der Differential-Abtastkalorimetrie (DSC) bei einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 10°C/min gemessen und ergab sich mit 414°C.

Dieses Band wurde anschließend mittels Elektrophorese mit Glimmerpulver beschichtet und dann zu einem torusförmigen Kern mit einem Außendurchmesser von 60 mm und einem Innendurchmesser von 30 mm gewickelt.

Dieser Kern wurde in einer Ar-Gasatmosphäre wärmebehandelt, wobei der Kern mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 10°C/min auf 570°C erwärmt, auf dieser Temperatur eine Stunde lang gehalten und dann mit Luft abgekühlt wurde. Die Transmissions-Elektronenmikroskopie erwies, daß der Kernwerkstoff des wärmebehandelten Magnetkerns die gleiche Mikrostruktur wie in Beispiel 1 aufwies.

Tabelle 4

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	Wärmebehandlungstemperatur (°C)	Bs (T)	ΔB (T)	μr	Kernvolumen (Relativwert)	Gesamte Kernverluste (Relativwert)
1	Fe ₈₅ Cu ₁ Nb ₃ Si ₇ B ₉	570	1,48	2,71	5400	0,69	0,96
2	Fe ₈₅ B _{13,5} Si _{13,5} C ₂	360	1,60	2,24	950	1	5,47
3	Co _{69,5} Fe _{0,5} Mn ₆ Si ₁₅ B ₉	220	0,83	1,57	5200	2,04	1

Anmerkung:

Probe Nr. 1: Beispiel der Erfindung

Proben Nr. 2, 3: Herkömmliche Legierung

Die magnetischen Eigenschaften (Bs, ΔB und μr), das Kernvolumen und die gesamten Kernverluste des erfindungsgemäßen Magnetkerns und der nach einem ähnlichen Beschichtungsverfahren hergestellten konventionellen Magnetkerne gleicher Größe sind in Tabelle 4 dargestellt. Wie aus Tabelle 4 deutlich wird, ist der erfindungsgemäße Kern hinsichtlich Magnetkernvolumen und gesamten Kernverlusten denjenigen aus herkömmlichen amorphen Legierungen überlegen.

Beispiel 4

Mittels eines Einwalzverfahrens wurden amorphe Bänder von 15 mm Breite und 18 μm Dicke und mit der in Tabelle 5 angegebenen Zusammensetzung hergestellt, wobei jedes Band mit einer 3 μm dicken MgO-Isolierschicht überzogen wurde. Das jeweilige Band wurde dann zu einem torusförmigen Kern mit 60 mm Außendurchmesser und 30 mm Innendurchmesser gewickelt. Die einzelnen Magnetkerne wurden bei einer Temperatur oberhalb ihrer Kristallisationstemperatur in einem Magnetfeld wärmebehandelt.

Kernvolumen und gesamte Kernverluste jedes dieser Magnetkerne sind in Tabelle 5 angegeben. Dabei wiesen die sich ergebenden Magnetkernwerkstoffe im wesentlichen die gleiche Mikrostruktur wie im Beispiel 1 auf.

Tabelle 5

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	Bs (T)	Kernvolumen (Relativwert)	Gesamte Kernverluste (Relativwert)	λs (× 10 ⁻⁶)
1	Fe ₇₄ Cu _{0,5} Si _{13,5} B ₉ Nb ₃	1,24	0,97	0,89	+1,8
2	Fe ₇₄ Cu _{1,5} Si _{13,5} B ₉ Nb ₂	1,26	0,99	0,80	+2,0
3	Fe ₇₉ Cu _{1,0} Si ₈ B ₉ Nb ₃	1,46	0,84	0,84	+1,8
4	Fe _{74,5} Cu _{1,0} Si _{13,5} B ₆ Nb ₅	1,16	1,01	0,91	+1,5
5	Fe ₇₇ Cu ₁ Si ₁₀ B ₉ Nb ₃	1,43	0,86	0,88	+1,6
6	Fe _{73,5} Cu ₁ Si _{17,5} B ₅ Ta ₃	1,05	1,19	0,95	-0,3
7	Fe ₇₁ Cu _{1,5} Si _{13,5} B ₉ Mo ₅	1,12	1,05	0,75	+1,9
8	Fe ₇₄ Cu ₁ Si ₁₄ B ₈ W ₃	1,21	0,93	0,97	+1,7
9	Fe ₇₃ Cu ₂ Si _{13,5} B _{8,5} Hf ₃	1,16	1,23	0,86	+2,0
10	Fe _{74,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ Ta ₂	1,28	0,91	0,91	+1,8
11	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₈ Zr ₅	1,17	1,18	0,93	+2,0
12	Fe _{71,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ Ti ₅	1,13	1,15	0,96	+1,8
13	Fe ₇₃ Cu _{1,5} Si _{13,5} B ₉ Ta ₃	1,14	1,23	0,90	+1,9
14	Fe ₇₁ Cu ₁ Si ₁₃ B ₁₀ W ₅	1,00	1,45	0,87	+2,5
15	Co _{73,3} Fe _{0,7} Mn ₃ Si ₁₄ B ₉ Amorph	0,83	2,09	1,0	annähernd 0
16	Fe ₈₅ B _{13,5} Si _{13,5} C ₂ Amorph	1,60	1,0	6,38	+27
17	Mn—Zn Ferrit	0,48	16,22	1,09	—

Anmerkung:

Proben Nr. 1—14: Erfindung

Proben Nr. 15—17: Herkömmliche Kerne

Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, sind die gesamten Kernverluste bei den Magnetkernen nach der Erfindung viel geringer als bei den herkömmlichen amorphen Legierungen; bezüglich des Kernvolumens sind ferner die erfindungsgemäßen Magnetkerne viel kleiner als diejenigen aus amorpher Kupferlegierung und Mn—Zn-Ferrit, das relativ kleine Kernverluste aufweist. Außerdem erzeugten die erfindungsgemäßen Magnetkerne keine Schwebungsfrequenzen (beats), da sie viel geringere Magnetostriktion aufweisen als Magnetkerne aus amorpher Eisenlegierung.

Beispiel 5

Nach dem Einwalzenverfahren wurden amorphe Bänder von 15 mm Breite und 18 µm Dicke mit den in Tabelle 6 gezeigten Zusammensetzungen erzeugt. Jedes dieser Bänder wurde dann mit einer MgO-Isolierschicht einer Dicke von etwa 3 µm beschichtet und zu einem Toruskern mit 60 mm Außendurchmesser und 30 mm Innendurchmesser gewickelt.

Tabelle 6

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	B _s (T)	Kernvolumen (Relativwert)	Gesamte Kernverluste (Relativwert)
1	(Fe _{0,959} Co _{0,041}) _{73,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ Nb ₃	1,30	0,38	0,34
2	Fe _{70,5} Cu ₁ Si _{20,5} B ₅ Nb ₃	1,08	0,51	0,27
3	(Fe _{0,73} Co _{0,27}) _{73,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ Nb ₃	1,23	0,37	0,35
4	Fe _{75,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₇ Nb ₃	1,33	0,33	0,28
5	(Fe _{0,59} Ni _{0,41}) _{71,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ Nb ₃	1,23	0,45	0,28
6	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₉ B ₅ Nb ₃	1,14	0,48	0,21
7	(Fe _{0,60} Co _{0,40}) _{73,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ Nb ₃	1,27	0,39	0,25
8	Fe ₇₇ Cu ₁ Si ₁₀ B ₉ Nb ₃	1,42	0,33	0,29
9	Fe ₈₁ Si _{1,9} B _{17,1} 40% Amorph, Rest kristallin	1,65	1,0	1,0
10	Fe ₈₁ Si _{1,9} B _{17,1} 20% Amorph, Rest kristallin	1,65	1,32	1,87

Anmerkung:
Proben Nr. 1—8: Erfindung
Proben Nr. 9 und 10: Herkömmliche Kerne

Sodann wurden die einzelnen Magnetkerne bei einer Temperatur über ihrer Kristallisationstemperatur in einem magnetischen Feld wärmebehandelt, wobei der Magnetkern durch Einlegen in einen Ofen rasch aufgeheizt und anschließend mit einer Geschwindigkeit von 2°C/min abgekühlt wurde. Die Erwärmungszeit betrug 1 h. Die wärmebehandelte Legierung hatte die gleiche Mikrostruktur wie in Beispiel 1. Die magnetischen Eigenschaften, Kernvolumen, gesamte Kernverluste und Magnetostrukturen der Magnetkerne sind in Tabelle 6 gezeigt.

Aus Tabelle 6 wird klar, daß die erfindungsgemäßen Magnetkerne geringere gesamte Kernverluste aufwiesen als solche, die durch Kristallisieren herkömmlicher amorpher Legierungen hergestellt wurden. Ferner können die erfindungsgemäßen Magnetkerne ein kleineres Kernvolumen haben. Daher zeigt ein Hochspannungs-Impulsgenerator nach der Erfindung, der mindestens einen Magnetschalter mit den obigen Magnetkernen enthält, hervorragende Eigenschaften, wie sie mit Geräten, die herkömmliche Magnetkerne enthalten, nicht erzielt werden können.

Beispiel 6

Es wurden Bänder aus amorpher Legierung mit einer Breite von 15 mm und einer Dicke von 18 µm sowie den in Tabelle 7 gezeigten Zusammensetzungen erzeugt und die einzelnen Bänder wurden, mit Glimmerpulver in einer Dicke von 3 µm beschichtet. Danach wurde jedes Band zu einem torusförmigen Kern von 60 mm Außen- und 30 mm Innendurchmesser gewickelt.

Sodann wurde der Magnetkern bei einer Temperatur oberhalb seiner Kristallisationstemperatur wärmebehandelt. Die Erwärmungsgeschwindigkeit betrug dabei 10°C/min, die Erwärmungstemperatur wurde 1 h lang aufrechterhalten, und die Abkühlgeschwindigkeit betrug 1,5°C/min. Die wärmebehandelte Legierung hatte die gleiche Mikrostruktur wie in Beispiel 1.

Tabelle 7 zeigt das Kernvolumen und die gesamten Kernverluste jedes Magnetkerns. Es wird darauf hingewiesen, daß die Werte wie in Tabelle 4 als relative Werte angegeben sind unter der Annahme, daß der jeweilige Wert in der konventionellen amorphen Legierung 1 beträgt.

Erfindungsgemäß weist also der Hochspannungs-Impulsgenerator mindestens einen Magnetschalter auf, der einen Magnetkern aus einer weichmagnetischen Eisenlegierung mit überaus geringeren Kernverlusten und höherer Permeabilität als bei herkömmlichen amorphen Eisen- oder Kobaltlegierungen enthält.

Tabelle 7

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	Kern-volumen*)	Gesamte Kern-verluste*)	
1	Fe ₇₁ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ Ti ₁	0,83	0,68	
2	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ W ₅ V ₁	0,99	0,73	
3	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₆ B ₉ Mo ₅ Mn ₁	1,12	0,84	10
4	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₇ B ₉ Nb ₅ Ru ₁	1,06	0,91	
5	Fe ₇₁ Cu ₁ Si ₁₄ B ₁₀ Ta ₃ Rh ₁	1,04	0,88	
6	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Zr ₃ Pd ₁	0,97	0,76	
7	Fe _{72,5} Cu _{0,5} Si ₁₄ B ₉ Hf ₃ Ir ₁	0,95	0,92	
8	Fe ₇₀ Cu ₂ Si ₁₆ B ₉ Nb ₃ Pt ₁	1,14	0,88	15
9	Fe _{68,5} Cu _{1,5} Si ₁₅ B ₉ Nb ₅ Au ₁	1,34	0,93	
10	Fe _{71,5} Cu _{0,5} Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ Zn ₁	1,55	0,95	
11	Fe _{69,5} Cu _{1,5} Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ Mo ₁ Sn ₁	0,84	0,74	
12	Fe _{68,5} Cu _{2,5} Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ Ta ₁ Re ₁	0,89	0,81	
13	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ Zr ₁ Ag ₁	1,28	0,93	20
14	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ Hf ₁ Sc ₁	1,33	0,78	
15	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ Hf ₃ Zr ₁ Y ₁	1,40	0,95	
16	Fe ₇₁ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ Nb ₃ La ₁	1,14	0,84	
17	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₇ B ₉ Mo ₅ Ce ₁	1,25	0,77	
18	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₇ B ₉ W ₅ Pr ₁	1,51	0,83	25
19	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₇ B ₉ Ta ₅ Nb ₁	1,32	0,84	
20	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₇ B ₉ Zr ₅ Sm ₁	1,41	0,91	
21	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₆ B ₁₀ Hf ₃ Eu ₁	1,28	0,76	
22	Fe ₆₈ Cu ₁ Si ₁₈ B ₉ Nb ₃ Gd ₁	1,33	0,75	
23	Fe ₆₈ Cu ₁ Si ₁₉ B ₉ Nb ₃ Tb ₁	0,95	0,84	30
24	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Nb ₃ Dy ₁	0,84	0,80	
25	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Nb ₃ Ho ₁	0,90	0,93	
26	Fe ₇₁ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Nb ₃ Cr ₁ Ti ₁	1,18	0,85	
27	(Fe _{0,95} Co _{0,05}) ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Nb ₃ Cr ₁	1,00	1,10	
28	(Fe _{0,95} Co _{0,05}) ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Ta ₃ Ru ₁	1,22	0,96	35
29	(Fe _{0,9} Co _{0,1}) ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Ta ₃ Mn ₁	1,10	1,05	
30	(Fe _{0,99} Ni _{0,01}) ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Ta ₃ Ru ₁	1,25	0,84	
31	(Fe _{0,95} Ni _{0,05}) ₇₂ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Ta ₃ Cr ₁ Ru ₁	1,19	0,75	
32	(Fe _{0,90} Ni _{0,1}) ₆₈ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ W ₅ Ti ₁ Ru ₁	1,43	0,93	
33	(Fe _{0,95} Co _{0,03} Ni _{0,02}) _{69,5} Cu ₁ Si _{13,5} B ₉ W ₅ Cr ₁ Rh ₁	1,52	1,10	40
34	(Fe _{0,98} Co _{0,01} Ni _{0,01}) ₆₇ Cu ₁ Si ₁₅ B ₉ W ₅ Ru ₃	1,64	0,78	
35	Fe ₇₃ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₃ C ₁	1,21	0,89	
36	Fe ₇₃ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₃ Ge ₁	1,33	1,21	
37	(Fe _{0,92} Co _{0,08}) ₇₀ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₅ Zn ₁ As ₁	1,25	0,88	45
38	(Fe _{0,96} Co _{0,02} Ni _{0,02}) ₇₀ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₅ Sn ₁ In ₁	1,48	0,99	
39	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Mo ₅ Re ₁ C ₂	1,34	1,01	
40	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Mo ₅ Ce ₁ C ₂	1,26	1,09	
41	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ W ₅ Pr ₁ C ₂	1,55	0,98	50
42	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ W ₅ Nd ₁ C ₂	1,04	1,14	
43	Fe ₆₈ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Ta ₅ Gd ₁ C ₂	0,98	1,21	
44	Fe ₆₉ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₅ Tb ₁ C ₂	1,38	0,95	
45	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Nb ₅ Dy ₁ Ge ₁	1,20	0,88	
46	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₅ Pd ₁ Ge ₁	1,54	0,79	55
47	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₅ Ir ₁ P ₁	1,32	0,93	
48	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₅ Os ₁ Ca ₁	1,06	1,15	
49	Fe ₇₁ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Ta ₃ Cr ₁ C ₁	1,11	0,84	
50	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₅ B ₆ Zr ₅ V ₁ C ₅	1,38	0,88	
51	Fe ₆₃ Cu ₁ Si ₁₆ B ₅ Hf ₅ Cr ₂ C ₈	1,74	0,73	60
52	Fe ₆₈ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Mo ₄ Ru ₃ C ₁	1,43	0,91	
53	Fe ₇₀ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Mo ₃ Ti ₁ Ru ₁ C ₁	1,29	0,88	
54	Fe ₆₇ Cu ₁ Si ₁₄ B ₉ Nb ₆ Rh ₂ C ₁	1,64	1,00	
55	Fe ₇₃ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₃ P ₁	1,05	1,13	
56	Fe ₇₃ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₃ Ca ₁	1,19	0,95	65
57	Fe ₇₂ Cu ₁ Si ₁₃ B ₉ Nb ₃ Sb ₁	1,06	0,87	

Probe Nr.	Zusammensetzung (Atom-%)	Kern-volumen*)	Gesamte Kern-verluste*)
5	58 $\text{Fe}_{73}\text{Cu}_1\text{Si}_{13}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{As}_1$	1,23	0,93
	59 $\text{Fe}_{71}\text{Cu}_1\text{Si}_{13}\text{B}_8\text{Mo}_5\text{C}_2$	1,31	0,93
	60 $\text{Fe}_{70}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_6\text{Mo}_3\text{Cr}_1\text{C}_3$	1,66	0,77
	61 $(\text{Fe}_{0,95}\text{Co}_{0,05})_{70}\text{Cu}_1\text{Si}_{13}\text{B}_9\text{Nb}_5\text{Al}_1\text{C}_1$	1,84	0,83
	62 $(\text{Fe}_{0,98}\text{Ni}_{0,02})_{70}\text{Cu}_1\text{Si}_{13}\text{B}_9\text{W}_5\text{V}_1\text{Ge}_1$	1,77	0,99
10	63 $\text{Fe}_{68,5}\text{Cu}_{1,5}\text{Si}_{13}\text{B}_9\text{Nb}_5\text{Ru}_1\text{C}_2$	1,56	0,86
	64 $\text{Fe}_{70}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_8\text{Ta}_3\text{Cr}_1\text{Ru}_2\text{C}_1$	1,62	0,87
	65 $\text{Fe}_{70}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Nb}_5\text{Be}_1$	1,38	1,01
	66 $\text{Fe}_{68}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_5\text{Mn}_1\text{Be}_1$	1,54	0,99
	67 $\text{Fe}_{69}\text{Cu}_2\text{Si}_{14}\text{B}_8\text{Zr}_5\text{Rh}_1\text{In}_1$	1,90	0,91
15	68 $\text{Fe}_{71}\text{Cu}_2\text{Si}_{13}\text{B}_7\text{Hf}_5\text{Au}_1\text{C}_1$	1,48	0,92
	69 $\text{Fe}_{66}\text{Cu}_1\text{Si}_{16}\text{B}_{10}\text{Mo}_5\text{Sc}_1\text{Ge}_1$	1,61	0,85
	70 $\text{Fe}_{67,5}\text{Cu}_{0,5}\text{Si}_{14}\text{B}_{11}\text{Nb}_5\text{Y}_1\text{P}_1$	1,54	1,03
	71 $\text{Fe}_{67}\text{Cu}_1\text{Si}_{13}\text{B}_{12}\text{Nb}_5\text{La}_1\text{Ga}_1$	1,32	1,21
	72 $(\text{Fe}_{0,95}\text{Ni}_{0,05})_{70}\text{Cu}_1\text{Si}_{13}\text{B}_8\text{Nb}_5\text{Sm}_1\text{Sb}_1$	1,88	0,96

*) Anmerkung: Relative Werte

Patentansprüche

1. Magnetschalter für einen Hochspannungs-Impulsgenerator, der einen aus einem Band aus weichmagnetischer Eisenlegierung torusförmig gewickelten Magnetkern aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung eine Zusammensetzung der allgemeinen Formel
2. $(\text{Fe}_{1-a}\text{M}_a)_{100-x-y-z-a-\beta-\gamma}\text{Cu}_x\text{Si}_y\text{B}_z\text{M}'_a\text{M}''_\beta\text{X}_\gamma$,
(Anteile jeweils in Atom-%) aufweist, wobei M Co und/oder Ni ist; M' mindestens eines der Elemente Nb, W, Ta, Zr, Hf, Ti und Mo; M'' mindestens eines der Elemente V, Cr, Mn, Al, der Elemente der Platingruppe, Sc, Y, der seltenen Erden, Au, Zn, Sn und Re; X mindestens eines der Elemente C, Ge, P, Ga, Sb, In, Be und As; wobei ferner $0 \leq a \leq 0,5$, $0,1 \leq x \leq 3$, $6 \leq y \leq 25$, $3 \leq z \leq 15$, $14 \leq y + z \leq 30$, $1 \leq a \leq 10$, $0 \leq \beta \leq 10$ und $0 \leq \gamma \leq 10$ ist; und wobei mindestens 50% der Legierungsstruktur feine Kristallteilchen sind, die aus einer festen bcc-Fe-Lösung bestehen und eine mittlere Teilchengröße von 50 nm oder weniger aufweisen.
3. Magnetschalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß $0 \leq a \leq 0,1$, $0,5 \leq x \leq 2$, $10 \leq y \leq 25$, $3 \leq z \leq 12$, $18 \leq y + z \leq 28$ und $2 \leq a \leq 8$ ist.
4. Magnetschalter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Rest der Legierungsstruktur im wesentlichen amorph ist.
5. Magnetschalter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierungsstruktur im wesentlichen aus den feinen Kristallteilchen besteht.
6. Magnetschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß M' Nb ist.
7. Magnetschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung eine Sättigungs-Magnetostruktion λ_s zwischen $+5 \times 10^{-6}$ und -5×10^{-6} aufweist.
8. Magnetschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Band eine Dicke von 5 bis 25 μm aufweist.
9. Magnetschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Band mindestens teilweise mit einer Isolierschicht überzogen ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 3

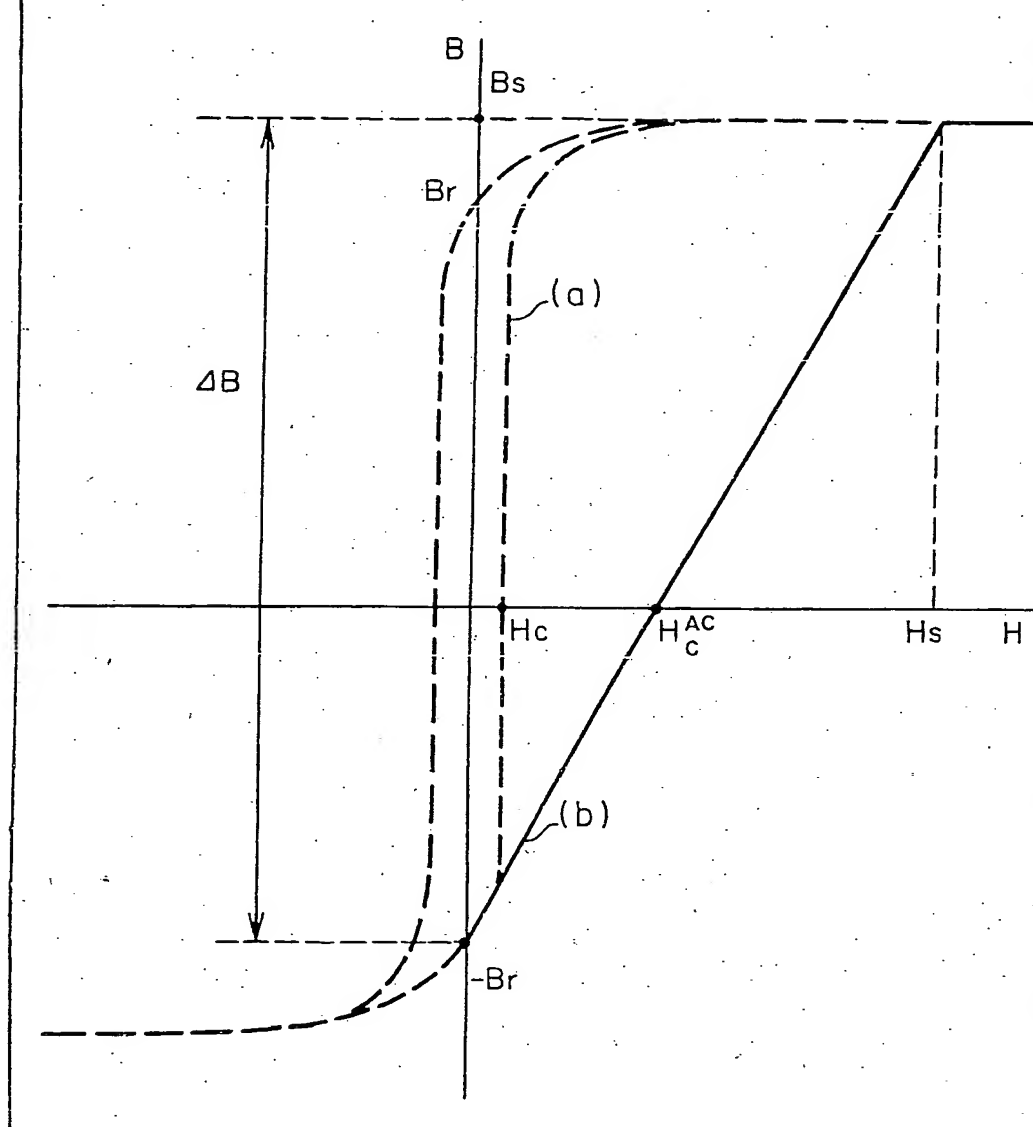


FIG. 4

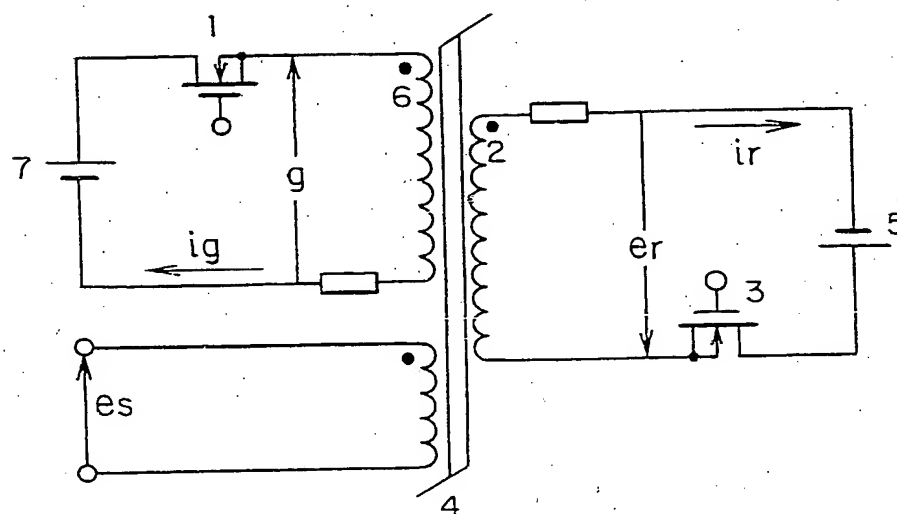


FIG. 5

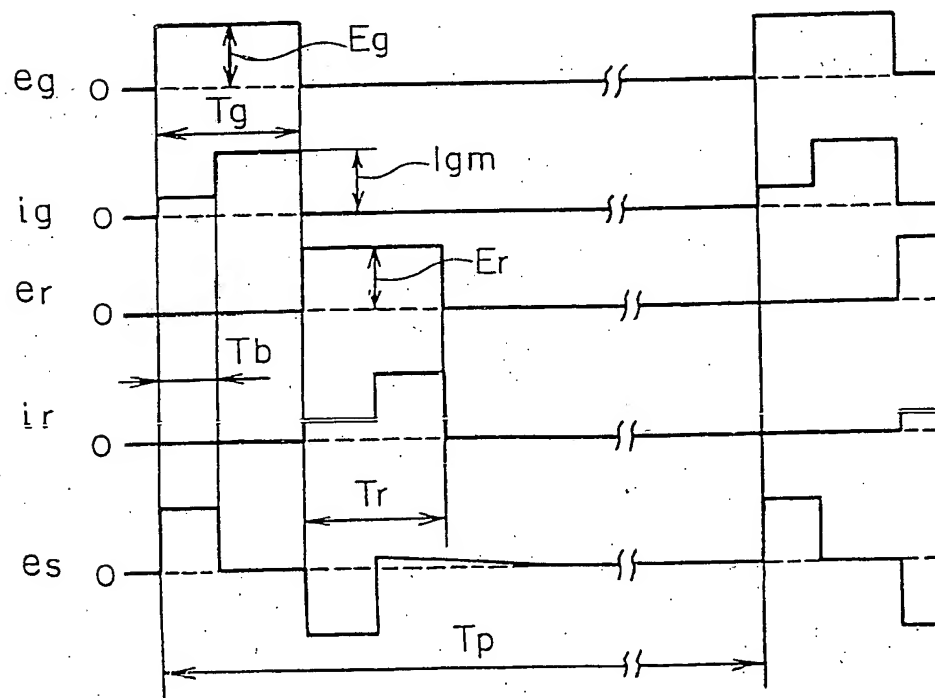


FIG. 6

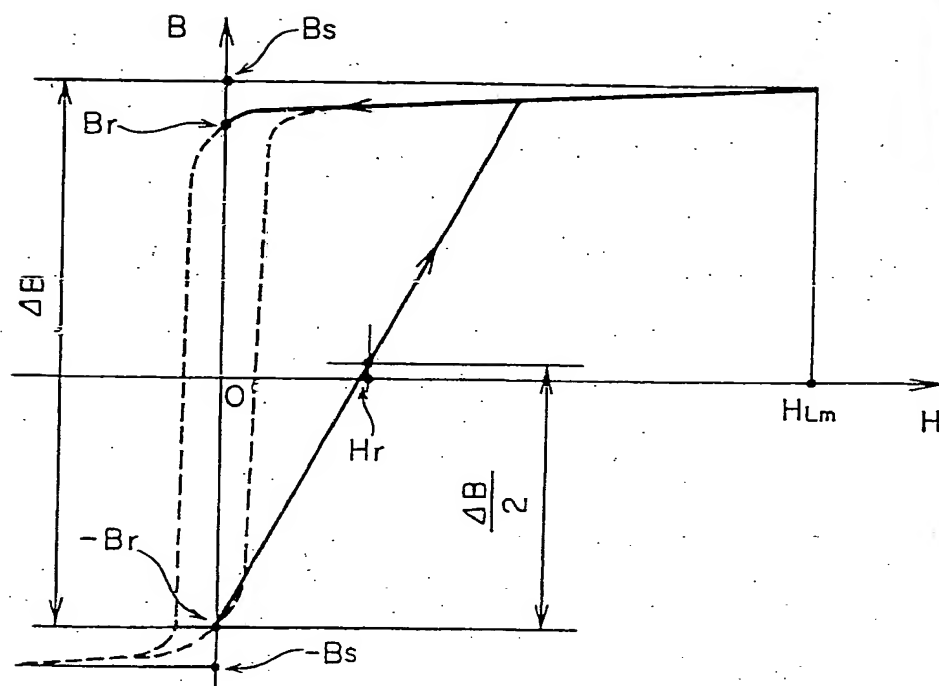


FIG. 7

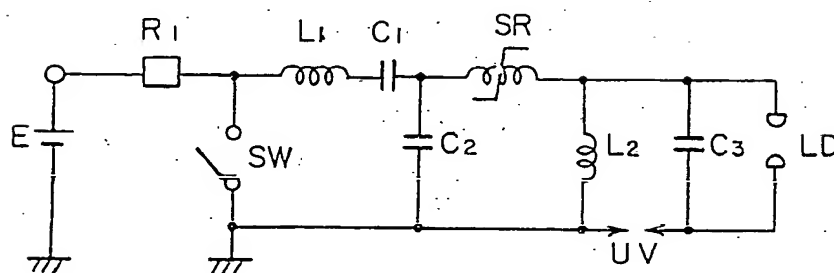


FIG. 8

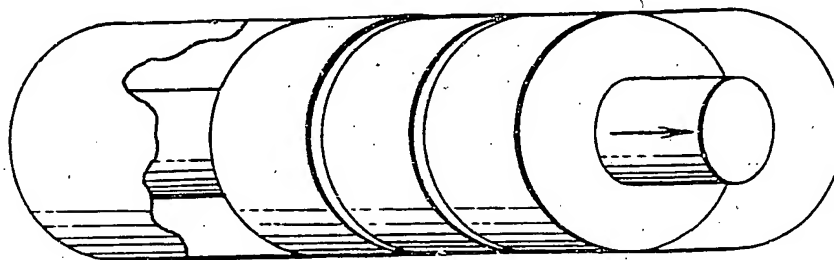


FIG. 9

CoK α

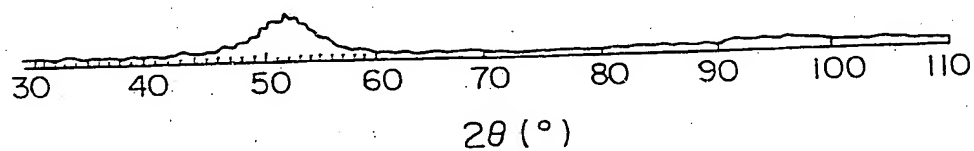
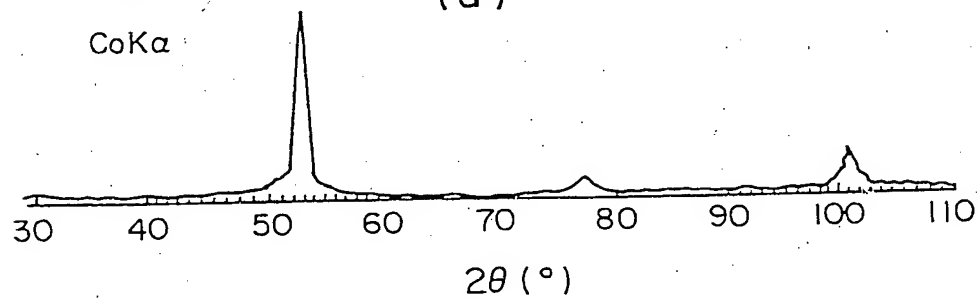


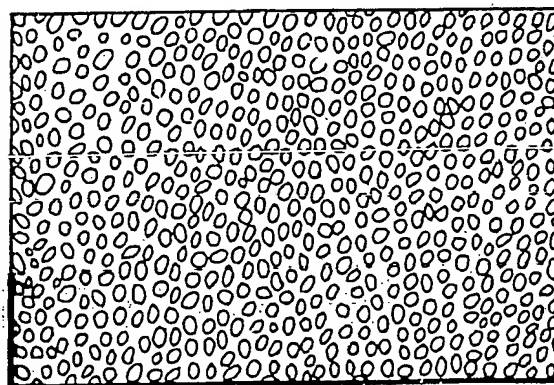
FIG. 10

CoK α

(a)



(b)



200 Å

THIS PAGE BLANK (USPTO)